МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

MACHINE BUILDING AND MACHINE SCIENCE



УДК 621.793.14 10.23947/1992-5980-2017-17-4-83-88

Нанесение окрашенных декоративных покрытий на поверхность конструкционных сталей*

С. М. Липкин[1], С. В. Кучеренко[2], И. Ю. Жукова[2], М. В. Колчина[2]**

[1]Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ), г. Новочеркасск, Российская Федерация
[2] Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Application of colored decorative coatings on structural steels surface ***

S. M. Lipkin[1], S. V. Kucherenko[2], I. Y. Zhukova[2], M. V. Kolchina[2]**

[1] South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk, Russian Federation
[2] Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

Введение. Химическая декоративная обработка стали заключается в окрашивании стальных изделий и нанесении на поверхность оксидных пленок для создания привлекательного вида и защиты изделия от ржавчины. Окрашивание водными растворами органических соединений меди обладает особенностью: окраска покрытия меняется в зависимости от времени выдержки в растворе, что связано с изменением толщины формирующегося оксидного слоя, в котором возникают явления интерференции. Для широкого применения данного способа необходимы исследования связи режимов окрашивания с получаемым цветом покрытия.
Целью настоящей работы является установление связи между окраской покрытия, получаемого из щелочных медьсодержащих растворов, и их количественным и качественным фазовым составом.
Материалы и методы. Фазовый состав получаемых покрытий исследовали методом локального электрохимического анализа (ЛЭА), основанного на катодном восстановлении оксидных фаз покрытий в гальваноимпульсном режиме с помощью датчика прижимной конструкции. В полученных импульсных хронопотенциограммах рассматривали значения потенциала в момент паузы и сопоставляли эти значения со стандартными потенциалами различных редокс-пар оксидов меди.
Результаты исследования. Анализируемые покрытия формировались в течение разного времени выдержки образца в растворе и имели разную окраску. Данные редокс-пары соответствуют: $[Cu(OH)_4]^{2-}/Cu$ — адсорбционному слою гидроксокупрат-анионов на поверхности электроосажденной на сталь меди; $Cu(OH)_2/Cu$ — адсорбционному слою гидроксида меди на поверхности электроосажденной меди; Cu_2O/Cu — оксидной пленке оксида меди (I) на меди. Это позволяет сделать вывод о составе цветных покрытий на исследованных образцах. Коричневая, фиолетовая и синяя пленки, формирующиеся в начальный период выдержки медного покрытия в растворе, содержат адсорбированные гидроксокупрат и гидроксид меди. Голубая, желтая и сиреневая пленки, формирующиеся более длительное время, содержат кроме этих фаз оксид меди (I).
Обсуждение и заключение. Из полученных данных следует, что управление временем смены окраски, необходимое в раз-

Introduction. Chemical decorative treatment of steel consists in painting steel products and applying oxide films to the surface to create an attractive appearance and prevent the product from rust. Staining copper organic compounds with aqueous solutions has the following feature: the coating color varies depending on the resistance time in solution, which is associated with changing in thickness of the forming oxide layer where interference phenomena occur. For a wide application of this method, studies are needed to investigate the relationship between the staining modes and the resulting coating color. The work objective is to establish relationship between the coating staining obtained from alkaline copper-containing solutions and their quantitative and qualitative phase composition.
Materials and Methods. The phase composition of the coatings obtained was studied by the method of local electrochemical analysis (LEA) based on the cathodic reduction of the oxide phases of the coatings in the galvanopulse mode using a clamp sensor. From the obtained impulse chronopotentiograms, the potential values at the pause moment were considered, and then these values were compared to the standard potentials of various redox pairs of copper oxides.
Research Results. The analyzed coatings were formed during different time of holding the sample in solution and had a different color. The data of the redox pair correspond to: $[[Cu(OH)_4]^{2-}/Cu$ — adsorption layer of hydroxocuprate-anions on the surface of electrodeposited copper steel; $Cu(OH)_2/Cu$ — adsorption layer of copper hydroxide on the surface of electrodeposited copper; Cu_2O/Cu — oxide film of copper oxide (I) on copper. This equates to conclude about the colored coatings composition on the samples studied. Brown, violet and blue films formed during the initial period of exposure of the copper coating in solution contain adsorbed hydroxocuprate and copper hydroxide. Blue, yellow and lilac films formed over a longer period of time contain, in addition to these phases, copper oxide (I).
Discussion and Conclusions. From the data obtained, it follows that the management of the color change time required in various

*Работа выполнена в рамках инициативной НИР.
**E-mail: lipkin@yandex.ru, Kuh-sv82@mail.ru, iyuzh@mail.ru, kaufman.maria-cat@yandex.ru
*** The research is done within the frame of the independent R&D.

личных технологических приложениях, может осуществляться за счет изменения концентрации сульфата меди, а также органического восстановителя. На механизм окрашивания покрытий оказывают влияние адсорбционные слои, формирующиеся на поверхности стали. Изменяя время выдержки образца в электролите, можно управлять фазовым составом адсорбционных слоев, а, следовательно, влиять на окрашиваемость покрытия.

technological applications can be carried out through changing the concentration of copper sulfate, as well as an organic reducing agent. The mechanism of coating coloration is affected by the adsorption layers formed on the steel surface. By varying the aging time of the sample in the electrolyte, it is possible to control the phase composition of the adsorption layers, and, consequently, influence the coating colorability.

Ключевые слова: полихромные покрытия, декоративное окрашивание, локальный электрохимический анализ, сталь, электролит, явление интерференции, фазовый состав, время выдержки, сульфат меди, хронопотенциограмма.

Keywords: polychromatic coatings, decorative painting, local electrochemical analysis, steel, electrolyte, phenomenon of interference, phase composition, exposure time, copper sulfate, chronopotentiogram.

Образец для цитирования: Нанесение окрашенных декоративных покрытий на поверхность конструкционных сталей / С. М. Липкин [и др.] // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. — 2017. — Т. 17, № 4. — С. 83–88.

For citation: S.M. Lipkin, S.V. Kucherenko, I.Y. Zhukova, M.V. Kolchina. Application of colored decorative coatings on structural steels surface. Vestnik of DSTU, 2017, vol. 17, no.4, pp. 83–88.

Введение. Окрашивание металла является важным этапом производства многих видов металлопродукции. Оно формирует художественно-декоративный вид изделия, а также обеспечивает требуемую отражательную способность, защитные свойства и пр. [1–4]. Перспективными методами являются химическое и электрохимическое окрашивание металлов. Их преимущество — получение оригинальной цветовой гаммы покрытия за счет влияния явлений интерференции в тонких пленках, образующихся на окрашенной поверхности. Этот вид окрашивания может осуществляться:

— введением в раствор, применяемый для обработки поверхности, окислителей металлов (например, таких солей, как нитрит и нитрат натрия) [5, 6];

— электроосаждением на катоде [5, 6];

— анодированием [7–10].

Электрохимическое окрашивание можно проводить при различных режимах и в электролитах разного состава, например:

— электролитах, содержащих гипосульфит как окислитель и реагент для образования сульфида железа;

— аммиак с молибдатом аммония;

— уксуснокислый ацетат свинца с гипосульфитом.

Однако окрашивание в этих растворах отличается нестабильностью [1, 5]. Значительно более перспективными представляются способы окрашивания в растворах, содержащих сульфат меди и гидроксид натрия с органическими восстановителями, которые дают большое количество цветов в зависимости от времени обработки окрашиваемой поверхности [6].

Особенность окрашивания водными растворами органических соединений меди — периодическая смена окраски покрытия в зависимости от времени выдержки в растворе. Окраску связывают с изменением толщины формирующегося оксидного слоя на поверхности электроосажденной металлической меди:

$$Cu + CuSO_4 + 2NaOH = Cu_2O + Na_2SO_4 + H_2O.$$

В оксидном слое возникают явления интерференции, обусловливающие разную окраску в зависимости от толщины оксидной пленки, которая, в свою очередь, зависит от времени взаимодействия электроосажденного покрытия с ионами меди (II), находящимися в растворе. При этом, однако, не учитываются многие другие процессы, возможные в данной системе:

— образование адсорбционных слоев гидроксида меди (II) на поверхности медного покрытия и оксидной пленки;

— образование продуктов взаимодействия органического восстановителя (сахар) с гидроксидом меди;

— контактный обмен железа с ионами меди через поры образующегося покрытия.

В связи с этим картина цветообразования формирующихся покрытий может быть сложнее. Поэтому исследование механизмов образования цвета является актуальным и необходимым для оптимизации и управления процессом окрашивания. Известны трудности исследования тонкослойных покрытий методом рентгенофазового анализа. Значительные преимущества в этом отношении имеют электрохимические методы фазовой идентификации, основанные на восстановлении составляющих оксидных покрытий. При этом потенциал восстановления позволяет провести качественную идентификацию, а время восстановления дает возможность оценки той или иной фазы.

Целью настоящей работы является установление связи между окраской покрытия, получаемого из щелочных медьсодержащих растворов, и количественным и качественным фазовым составом формируемого покрытия.

Материалы и методы. Для приготовления 1 л электролита было взято 60 г (0,38 моль) сульфата меди, 90 г (0,26 моль) сахара и 45 г (1,13 моль) гидроксида натрия. Плотность раствора электролита 1,10 г/см^3 при 16° С. Анод — медь, катодом являлась покрываемая стальная деталь. Режим нанесения покрытия: температура электролита 25–40° С; катодная плотность тока 0,01 А/дм^2. Изделие погружали в ванну и выдерживали под током в течение 1 мин, затем ток отключали и выдерживали деталь в электролите для нанесения покрытия (табл. 1).

Таблица 1

Table 1

Зависимость окраски покрытий от времени выдержки образца в электролите

Dependence of coating staining on time of sample exposure in electrolyte

№ образца	Время нанесения медного покрытия, мин	Цвет покрытия	Фазовые составляющие покрытия
1	2	Коричневый	$[Cu(OH)_4]^{2-}$, $Cu(OH)_2$
2	2–3,5	Фиолетовый	$[Cu(OH)_4]^{2-}$, $Cu(OH)_2$
3	3,5–5,5	Синий	$[Cu(OH)_4]^{2-}$, $Cu(OH)_2$
4	6,5–8,5	Голубой	$[Cu(OH)_4]^{2-}$, $Cu(OH)_2$,Cu_2O
5	8,5–12	Желтый	$[Cu(OH)_4]^{2-}$, $Cu(OH)_2$,Cu_2O
6	12–13	Сиреневый	$[Cu(OH)_4]^{2-}$, $Cu(OH)_2$,Cu_2O

Фазовый состав получаемых покрытий исследовали методом локального электрохимического анализа (ЛЭА), основанного на катодном восстановлении оксидных фаз покрытий в гальваноимпульсном режиме с помощью датчика прижимной конструкции (площадь контакта с исследуемой поверхностью 0,5 мм^2). Для метода ЛЭА в качестве электролита использовали раствор гидроксида калия концентрацией 0,1 моль/л. Режим поляризации представлял собой последовательность импульсов тока, чередующихся с паузами. Длительность импульса составляла 1,5 с, паузы — 0,3 с. На каждом последующем импульсе амплитуда увеличивалась на 4 мкА, начиная с этого значения. Количество импульсов — 30. Из полученных импульсных хронопотенциограмм рассматривали значения потенциала в момент паузы и сопоставляли эти значения со стандартными потенциалами различных редокс-пар оксидов меди [7]. Количество соответствующих фаз определяли по длине участка (рис. 1), находящегося в выделенном диапазоне потенциалов.

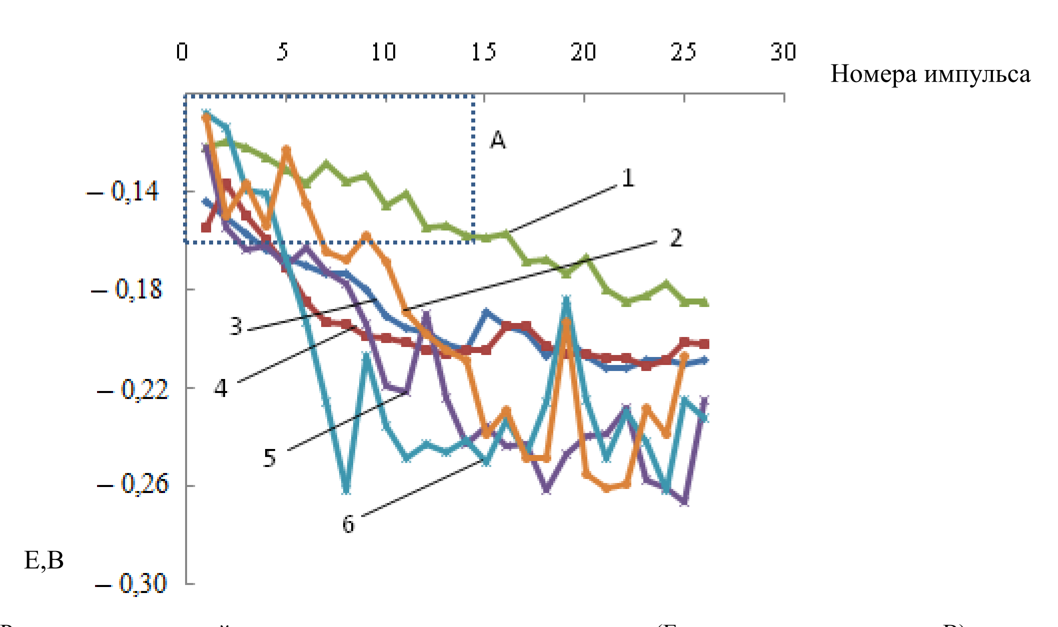


Рис. 1. Результаты измерений в моменты окончания пауз потенциалов (Е, измеряется в вольтах — В) исследуемых образцов с покрытиями разных цветов: 1 —синего, 2 — сиреневого, 3 — коричневого, 4 — фиолетового, 5 — голубого, 6 —желтого

Pic. 1. Measurement results at the terminal time of potentials pauses (E, measured in volts–B) of test samples with coatings of different colors: 1–blue, 2–lilac, 3–brown, 4–violet, 5–blue, 6–yellow

Например, для покрытия синего цвета протяженность участка в интервале потенциалов –0,1÷–0,16 В ограничивается номером импульса, который соответствует достижению потенциала –0,16 В (зона А на рис. 1).

Обсуждение и результаты. Анализируемые покрытия формировались в течение разного времени выдержки образца в растворе и имели разную окраску (табл. 1).

На рис. 1 представлены результаты измерений потенциалов покрытий исследуемых образцов в моменты окончания пауз, полученные с помощью метода ЛЭА.

Как следует из полученных данных, в покрытиях присутствуют в разных соотношениях 3 вида фаз ($[Cu(OH)_4]^{2-}$, $Cu(OH)_2$, Cu_2O), восстанавливающихся в диапазонах потенциалов –0,1 ÷–0,16 В, –0,16 ÷–0,22 В и – 0,22 ÷ –0,26 В (относительно нормального водородного электрода (н. в. э.) [7]. Имеющиеся нерегулярности связаны с неупорядоченным расположением фаз по глубине покрытия. С выделенными диапазонами потенциалов можно сопоставить следующие редокс-потенциалы пар оксидов и гидроксидов меди.

Диапазон –0,1 ÷–0,16В: $[Cu(OH)_4]^{2-} + 2e = Cu + 4OH^-$; $E^0 = -0132$ В.

Диапазон –0,16 ÷–0,23 В: $Cu(OH)_2 + 2\bar{e} = Cu + 2OH^-$; $E^0 = -0{,}226$ В.

Диапазон менее –0,23 В: $Cu_2O + H_2O + 2\bar{e} = 2Cu + 2OH^-$; $E^0 = -0{,}365$ В.

Данные редокс-пары соответствуют:

— $[Cu(OH)_4]^{2-}/Cu$ — адсорбционному слою гидроксокупрат-анионов на поверхности электроосажденной на сталь меди;

— $Cu(OH)_2/Cu$ — адсорбционному слою гидроксида меди на поверхности электроосажденной меди;

— Cu_2O/Cu — пленке оксида меди (I) на меди.

Таким образом, можно сделать вывод о составе цветных покрытий на исследованных образцах. Коричневая, фиолетовая и синяя пленки, формирующиеся в начальный период выдержки медного покрытия в растворе, содержат адсорбированные гидроксокупрат и гидроксид меди (II) (см. табл. 1). Голубая, желтая и сиреневая пленки, формирующиеся более длительное время, содержат кроме этих фаз оксид меди (I). Это соответствует определенной последовательности стадий формирования покрытий:

— электроосаждение меди;

— образование адсорбционных слоев на электроосажденном покрытии из гидроксокупрата и гидроксида меди (II);

— взаимодействие адсорбционных слоев с органическим восстановителем (медленно) с образованием оксида меди (I).

Относительное количество каждой из идентифицированных фаз рассчитывалось в единицах длины участка восстановления (количество точек, принадлежащих интервалам потенциалов восстановления, N_i) и в относительных единицах (долях по отношению к общей длине кривой восстановления, X_i):

$$X_i = \frac{N_i}{\sum N_i} .$$

Результаты расчетов вместе с длиной волны, соответствующей цвету покрытия, приведены в табл. 2.

Таблица 2

Table 2

Состав цветных покрытий

Color coating composition

Характеристики окрашенных покрытий		Количество фаз покрытия в единицах					
Цвет	Соответствующая длина волны, нм	длины участка восстановления, N_i			относительных, X_i		
		$Cu(OH)_2$	$[Cu(OH)_4]^2$	Cu_2O	$Cu(OH)_2$	$[Cu(OH)_4]^2$	Cu_2O
Коричневый	602,5	23	3	0	0,885	0,115	0
Фиолетовый	415	22	4	0	0,846	0,154	0
Синий	465	13	13	0	0,5	0,5	0
Голубой	495	7	6	13	0,269	0,231	0,5
Желтый	580	5	2	19	0,192	0,077	0,731
Сиреневый	480	8	9	9	0,308	0,346	0,346

Как следует из приведенных данных, связь количества фаз с длиной волны целесообразно рассматривать для двух групп: содержащих оксид меди (I) и не содержащих его. Для группы «голубой, желтый, сиреневый» окраску формирует оксид меди (I), образующийся за счет восстановления $Cu(OH)_2$ и $[Cu(OH)_4]^{2-}$ органическим восстановителем. Длина волны, соответствующая цвету покрытия, определяется относительным количествомCu_2O. Формирование окраски покрытия адсорбированным комплексом меди на начальных стадиях процесса происходит, по-видимому, за счет смешивания цвета слоя электроосажденной меди с цветом адсорбционных слоев $Cu(OH)_2$ и $[Cu(OH)_4]^{2-}$, в связи с чем длина волны, соответствующая цвету покрытия, зависит от относительного количества гидроксокомплекса.

Из полученных данных следует, что управление временем смены окраски, необходимое в различных технологических приложениях, может осуществляться за счет изменения концентрации сульфата меди, а также органического восстановителя.

Выводы. На механизм окрашивания покрытий в электролите оказывают влияние адсорбционные слои, формирующиеся на поверхности стали. Изменяя время выдержки стального образца в щелочном медьсодержащем элек-

тролите, можно управлять фазовым составом адсорбционных слоев, и, следовательно, влиять на окрашиваемость покрытия.

Библиографический список

1. Шлугер, М. А. Гальванические покрытия в машиностроении / М. А. Шлугер, Л. Д. Тока. — Москва : Машиностроение, 1985. — 248 с.

2. Способ нанесения цветного защитно-декоративного покрытия с рисунком : патент 2154124 Рос. Федерация : C23C14/04 / И. И. Колесова, М. Д. Парфенов. — № 97100079/02 ; заявл. 06.01.97 ; опубл. 10.08.2000, Бюл. № 22. — 3 с.

3. Decorative Coatings of Crystallite Type on Metallic and Non-metallic Surfaces / M. S. Satayev [et al.] // Asian journal of chemistry. — 2013. — Vol. 25, № 18. — P. 10329–10331.

4. Способ нанесения декоративных медных покрытий : заявка на изобретение Рос. Федерация : C25D 3/38 / Г. Н. Шутик [и др.]. — № 2000111796/02 ; опуб. 10.04.02. — 1 с.

5. Дасоян, М. А. Технология электрохимических покрытий / М. А. Дасоян. —Москва : Машиностроение, 1989. — 391 с.

6. Вансовская, К. М. Металлические покрытия, нанесенные химическим способом / К. М. Вансовская ; под ред. П. М. Вячеславова. — Ленинград : Машиностроение, 1985. — 103 с.

7. Кучеренко, С. В. Химическое окрашивание стали как декоративная обработка покрытия / С. В. Кучеренко, И. С. Иванина, Ю. А. Абраменко // Новая наука: современное состояние и пути развития. — 2015. — № 6-3. — С. 183–186.

8. Чумакова, Е. А. Оксидирование изделий из нержавеющих сталей для их интерференционного окрашивания / Е. А. Чумакова, Р. А. Мирзоев, И. К. Боричева // Тр. Санкт-Петербургского политехн. ун-та Петра Великого. — 2009. — № 510. — С. 62–69.

9. Износостойкое декоративное черное покрытие на титановых сплавах, получаемое методом микродугового оксидирования / А. Г. Ракоч [и др.] // Изв. высших учебных заведений. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. — 2016. — № 1. — С. 44–50.

10. Износостойкие защитно-декоративные покрытия на алюминии и его сплавах / А. Н. Болотов [и др.] // Механика и физика процессов на поверхности и в контакте твердых тел, деталей технологического и энергетического оборудования. — 2010. — № 3. — С. 179–181.

References

1. Shluger, M.A., Toka, L.D. Gal'vanicheskie pokrytiya v mashinostroenii. [Galvanic coatings in mechanical engineering.] Moscow: Mashinostroenie, 1985, 248 p. (in Russian).

2. Kolesova, I.I., Parfenov, M.D. Sposob naneseniya tsvetnogo zashchitno-dekorativnogo pokrytiya s risunkom: patent 2154124 Ros. Federatsiya: C23C14/04. [Method of applying color protective and decorative coating with pattern.] Patent RF, no. 2154124, 2000 (in Russian).

3. Satayev, M.S., et al. Decorative Coatings of Crystallite Type on Metallic and Non-metallic Surfaces. Asian journal of chemistry, 2013, vol. 25, no. 18, pp. 10329–10331.

4. Shutik, G.N., et al. Sposob naneseniya dekorativnykh mednykh pokrytiy: zayavka na izobretenie Ros. Federatsiya: S25D 3/38. [Method of applying decorative copper coatings.] Application for Invention RF, no. C25D 3/38, 2002 (in Russian).

5. Dasoyan, M.A. Tekhnologiya elektrokhimicheskikh pokrytiy. [Electrochemical coatings technology.] Moscow: Mashinostroenie, 1989, 391 p. (in Russian).

6. Vansovskaya, K.M. Metallicheskie pokrytiya, nanesennye khimicheskim sposobom. [Chemically applied metallic coatings.] Vyacheslavov, P.M., ed. Leningrad: Mashinostroenie, 1985, 103 c. (in Russian).

7. Kucherenko, S.V., Ivanina, I.S., Abramenko, I.A. Khimicheskoe okrashivanie stali kak dekorativnaya obrabotka pokrytiya. [Chemical staining of steel as decorative coating treatment.] New Science: Current State and Development Trends, 2015, no. 6-3, pp. 183–186 (in Russian).

8. Chumakova, E.A., Mirzoev, R.A., Boricheva, I.K. Oksidirovanie izdeliy iz nerzhaveyushchikh staley dlya ikh interferentsionnogo okrashivaniya. [Oxidation of articles made of stainless steels for their interference staining.] Proc. Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, 2009, no. 510, pp. 62–69 (in Russian).

9. Rakoch, A.G., et al. Iznosostoykoe dekorativnoe chernoe pokrytie na titanovykh splavakh, poluchaemoe metodom mikrodugovogo oksidirovaniya. [Wear-resistant black decorative coating produced by the plasma electrolytic oxidation method on titanium alloys.] Powder Metallurgy and Functional Coatings, 2016, no. 1, pp. 44–50 (in Russian).

10. Bolotov, A.N., et al. Iznosostoykie zashchitno-dekorativnye pokrytiya na alyuminii i ego splavakh. [Wear-resistant protective and decorative coatings on aluminum and its alloys.] Mechanics and physics of processes on surface and in contact of solids, parts of production and power equipment, 2010, no. 3, pp. 179–181 (in Russian).

Поступила в редакцию 22.06.2017
Сдана в редакцию 23.06.2017
Запланирована в номер 21.09.2017

Received 22.06.2017
Submitted 23.06.2017
Scheduled in the issue 21.09.2017

Об авторах:

Липкин Семен Михайлович,
доцент кафедры «Автоматика и Телемеханика» Южно-Российского государственного политехнического университета (НПИ) (РФ, 346400, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 1), кандидат технических наук, профессор,
ORCID: http://orcid.org/0000-0001-8311-8124
lipkin@yandex.ru

Кучеренко Светлана Викторовна,
доцент кафедры «Химические технологии нефтегазового комплекса» Донского государственного технического университета (РФ, 344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат химических наук, доцент,
ORCID: http://orcid.org/0000-0002-0731-6513
Kuh-sv82@mail.ru

Жукова Ирина Юрьевна,
заведующая кафедрой «Химические технологии нефтегазового комплекса» Донского государственного технического университета (РФ, 344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), доктор технических наук, профессор,
ORCID: http://orcid.org/0000-0002-2781-4528
iyuzh@mail.ru

Колчина Мария Викторовна,
студентка кафедры «Химических технологий нефтегазового комплекса» Донского государственного технического университета (РФ, 344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1),
ORCID: http://orcid.org/0000-0002-5424-4364
kaufman.maria-cat@yandex.ru

Authors:

Lipkin, Semen M.,
associate professor of the Automation and Telemechanics Department, South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk (RF, 346400, Novocherkassk, ul. Prosveshcheniya, 1), Cand.Sci. (Eng.), professor,
ORCID: http://orcid.org/0000-0001-8311-8124
lipkin@yandex.ru

Kucherenko, Svetlana V.,
associate professor of the Chemical Technologies of Oil and Gas Complex Department, Don State Technical University (RF, 344000, Rostov-on-Don, Gagarin Square, 1), Cand.Sci. (Chemistry), associate professor,
ORCID: http://orcid.org/0000-0002-0731-6513
Kuh-sv82@mail.ru

Zhukova, Irina Y.,
head of the Chemical Technologies of Oil and Gas Complex Department, Don State Technical University (RF, 344000, Rostov-on-Don, Gagarin Square, 1), Dr.Sci. (Eng.), professor,
ORCID: http://orcid.org/0000-0002-2781-4528
iyuzh@mail.ru

Kolchina, Maria V.,
student of the Chemical Technologies of Oil and Gas Complex Department, Don State Technical University (RF, 344000, Rostov-on-Don, Gagarin Square, 1),
ORCID: http://orcid.org/0000-0002-5424-4364
kaufman.maria-cat@yandex.ru